

F19(d,)017反応の(2I+1)法則と反応機構の研究

著者	竹内 雄三
号	108
発行年	1966
URL	http://hdl.handle.net/10097/23187

論文内容要旨

第1章 緒 論

第1節 (2I+1)法則の概観

$F^{10}(d, \alpha)0^{17}$ 反応の(2I+1)法則と反応機構に関する議論をするに先立ち、これまで(2I+1)法則について、どのような研究がなされてきたか、その研究対象と歴史について概説し、それらの研究報告に共通する(2I+1)現象の特徴をまとめた。それによると、この法則は大きくわけて

- (1) j-j多重項群の判定試案としての(2I+1)法則
- (2) 核反応論における統計理論の適用可能な領域の反応について見られる(2I+1)法則
- (3) 芯の励起模型と関連した(2I+1)法則

の三つの場合について議論され、(1)および(3)の場合は、反応機構が必ずしも、複合核過程である必要がないことを述べる。次いで(2)の場合の研究報告に共通する反応の現象的性質をまとめた。

第2節 本論文の目的

この節においては、この論文の目的が、必ずしも満足すべき十分な資料が蓄積されているとはいえないこの法則の、反応機構の根拠と、法則そのものの $F^{10}(d, \alpha)0^{17}$ 反応における性質を、理論的考察を加えて、実験的により系統的に調べていくことにあることを述べる。特にN. MacDonaldの提唱した条件が、われわれの場合満たされているか。この法則がスピン決定の手段としてどの程度有効なものであるかに関心の一つであることを指摘する。

第2章 実験について

第1節 装 置

この実験は東北大学5 MeV . V . d . G 加速器を用いて行つたが、その際の粒子加速系、反応粒子検出系について、どのようなものを用いたかを述べ、それら諸装置の特性についてふれた。入射重陽子エネルギーは $E_d=0.9-4.25$ MeV . の間で行い、粒子線強度は平均 $2 \cdot 10^{-2}$ μ A 程度であつた。

第2節 方 法

実験方法と実験データの物理的諸量の処理の仕方について述べた。

エネルギー較正は、 $Li^7(p, n)$ 反応のしきい値が $E_d=1.882$ MeV で非常に精密に決められていることを利用して行つた。標的厚は $Li^7(p, n)$ 反応しきい値のエネルギー損失によるずれを測定して求め、反応粒子検出器の立体角は、金による陽子のラザフォード散乱から半実験的に求め、それらによつて反応断面積の絶対値を決めた。標的は炭素薄膜(1.60 MeV . 入射陽子に対し約5 KeV のエネルギー損失)の上に、約 $50 \mu g/cm^2$ の CaF_2 を蒸着したものを用い、そこでエネルギー損失は、1.60 MeV . 入射重陽子に対して約20 KeV 以下である。測定は、二つの半導体検出器により同時に二つの回路系で、400 チャネル波高分析器を200チャネルずつにして用いて行つた。

第3章 実験結果

第1節 励起曲線

$E_d=1.0-4.25$ MeV . の間で50 KeV . 間隔に測定した $\theta_L=90^\circ, 135^\circ$ における励起曲線を示した。標的中でのエネルギー損失を2 KeV 以下に下げても部分的にこの励起曲線を再現してみると、より微細な構造は現れず、入射エネルギー巾 ΔE は、ほぼ $\Delta E < \Gamma$ となつており、50~100

KeV・間隔に角分布を取ることで、複合核の励起状態の特徴は捉えうるものと考えられた。

$E_d = 1.5 \text{ MeV}$ 以下で微分断面積が急激に減少しているのは、複合核形成過程におけるクーロン障壁の影響と考えられる。

第2節 角度分布

$E_d = 0.9 - 4.0 \text{ MeV}$ 間で 100 KeV 間隔に測定した角度分布を示す。全体的に分布形のエネルギー変化は、このエネルギー間隔での測定でよく捉えられているものと考えられる。ほとんどの角度分布は 90° 非対称性を示していて、 α_1 、 α_2 の角度分布はエネルギーと共に、大きな分布の変化を示さないが、 α_0 、 α_3 はかなり変動の急な形をしている。 α_1 、 α_2 は、直接過程ともみなしうる形をしていて、 $30^\circ \sim 60^\circ$ に収量が強く、 $70^\circ \sim 120^\circ$ に収量が薄いことは注目される。

第3節 積分断面積

角度分布を、最小自乗法により、 $L=8$ までのルジャンドル関数で展開し、 $\theta = 0^\circ - 180^\circ$ で積分した。実験点は、 $\theta_L = 25^\circ - 165^\circ$ での測定であるので、データの有限領域性に関する不確定性の問題が残る。

積分断面積のエネルギー変化は、微分断面積の励起曲線から期待されるより、更に複雑な様相を呈している。そのエネルギー構造から、われわれはこの領域が多単位重合領域であるとみなせるのではないか。

第4章 理論的考察

第1節 複合核連続領域過程

核反応の統計理論に基いて $(2I+1)$ 法則を導き、いくつかの条件の下で、それがどのような特徴を持つものであるかを議論した。

残留核単位のスピンを I とし、複合核単位のスピンを J とすると、

$J > 1$ から $(2I+1)$ 法則が導かれ、

$J \leq 1$ から $(2I+1)$ に独立な常数項 (エネルギーの一点で)

が導かれることを示した。そして、その性質上、このエネルギー領域では $(2I+1)$ 勾配と切片の比が 0.33 となることを示した。又複合核状態に小さなスピンの分布がない場合、どうなるかを示した。

第2節 干渉効果と統計理論

複合核の単位 Γ が $\Gamma \sim 100 \text{ KeV}$ 程度以上であれば、直接過程の反応時間と同程度の反応寿命となり、両過程の間に干渉効果が現われるものと思われる。反応寿命の極めて長い反応チャネル、或いは単位密度が極めて高く干渉効果が混合平均によつて打消されているチャネルが判つていれば、 $(2I+1)$ 法則を利用し、この干渉効果を量計することが出来ることを述べる。それが、エネルギーと共に、エネルギーの平方根の $(2\ell+1)$ 乗に比例する位相のずれ δ の余弦曲線となつて現われることを示す。

第5章 解 析

第1節 ルジャンドル関数展開

この節では、角度分布を東京教育大学理学部のHIPAC-103型電子計算機により、最小自乗法によつてルジャンドル関数の $L=8$ まで展開した展開係数のエネルギー変化を図示した。比較的複雑な揺動変化を示し、核単位間の多量干渉領域であることを物語っているものと思われる。

第2節 (2I+1)分布

エネルギーの1点における $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ の積分断面積を残留準位のスピンの函数として、分布を取ると、大部分のエネルギー点で、それらが一直線上に分布することが示される。ごく少数のいくつかのエネルギー点では、特にしきい点あるいは4.0 MeV近傍では、あまり良い一致を示さないものもあるが、全体的には、かなり良い一致を示しているといえる。

これまでのわれわれ以外の報告は、 $J > I$ というN. Mac Donaldの理論から、切片の存在を考慮に入れていないことが問題となる。この勾配と切片の比は0.9-3.5 MeV, における平均で約0.3と、われわれの模型で理論的に予想した値と極めて良い一致を示した。

第3節 $F^{19}(d, \alpha)O^{17}$ 反応における特徴

この(2I+1)法則の勾配は、細かく見ると、エネルギーと共に予想以上の変化を示し、切片も又エネルギー的に、顕著な構造を示している。その励起函数をとると、勾配の極小が切片の極大にはほぼ対応しており、 $Ed \simeq 1.6, 2.7, 3.1$ MeV. におけるそれらの構造点が、非弾性散乱、 He^3 放出反応のしきい点であることは極めて興味深いことが述べられる。これらの点は、われわれが理論的に予想した勾配と切片の比からの偏差の最も著しい点であり、法則の成立も、比較的好ましくない場合でもある事が述べられる。

第4節 他反応からの寄与の可能性

法則からの偏差の最も激しい α_2 について、その差のエネルギー変化を調べると、 $Ed \leq 1.2$ MeV $Ed \simeq 1.9 \sim 2.2$ MeV. $Ed \simeq 4.0$ MeV. を除く $Ed \simeq 1.2 \sim 1.8$ MeV, $Ed \simeq 2.3 \sim 2.8$ MeV. において余弦函数的変化がみられ、これは第4章第2節で述べた直接過程と複合核過程との干渉効果であるらしいことが示される。

$\delta l \propto (\sqrt{E})^{2I+1}$ であると考え、 $Ed \simeq 2.3 \sim 2.8$ MeV. における広共鳴準位との干渉は、 $l \simeq 1$ が主として効いているように思われることを述べる。

第6章 議論と結論

第1節 O^{17} の低励起準位について

O^{17} の低励起準位のスピン値について、これまでどのような方法で、どのように推定されていたかを述べる。基底状態、第1励起準位については、ほとんどの報告が異断なく $5/2^+, 1/2^+$ を支持し、鏡映核 F^{17} の基底、第1励起準位のそれと一致していることを認めているが、第2、第3励起準位については、必ずしもすべての意見が一致しているわけではない。第2励起準位($1/2^-$ あるいは $3/2^-$)第3励起準位($7/2^-$ あるいは $5/2^-$)が直接反応論による $O^{16}(d, p)O^{17}, O^{18}(d, t)O^{17}$ で一義的に決らず、 $O^{16}(p, p)O^{16}$ の位相のずれ法による F^{17} の解析結果を、殻模型論による対応で、 $1/2^-$ および $7/2^-$ と示唆され、長らく、これをあるいは括弧付で採用してきたが、 $O^{14}(\alpha, n\gamma)O^{17}$ では、 $1/2^-$ (あるいは $3/2^-$)と $5/2^-$ が、より好ましいと主張されている。

(2I+1)法則が一義的に有効な法則であれば、われわれの場合、第三励起準位は、 $7/2$ が好ましい。

第2節 議論と結論

$F^{19}(d, \alpha)O^{17}$ 反応の(2I+1)法則は、エネルギー的に部分的に傾向の良くない個所もあるが、 $Ed=0.9-4.0$ MeV. の領域では、全体的に云つて、切片を考慮に入れば、成立しているものと思われる。そしてその切片は、核反応の統計理論の観点から理論的には、導きうるものである。Jahns et al. がV. d. G領域の $F^{19}(d, \alpha)O^{17}$ 反応でこの法則が成立しないと結論したのは、

(1) 切片を考慮していない。

(2) しきい点手前の成立のよくない所であつた。という事にある。

総体的に核反応の統計理論でよく理解出来、定量的一致も良い。

N. Mac Doald の入射粒子エネルギーがクーロン障壁より十分高くなければならないと云う条件は、成立していない。これは、複合核統計理論の立場からは当然の事と考えられる。即ち、多準位重合による準位間混合が起り、スピン保存則が破られているためと考えてよいだろう。

第3励起準位のスピン $5/2$ が信頼度の高いものであれば、N. Mac Donald のスピン ± 1 不定論は正しいことになるが、その理論的根拠は不明である。

又直接過程との干渉効果も決して過少評価出来ない影響を、この法則にもたらすものと考えられる。この効果を消去するには少くとも 1 Me V . 近くの広さにわたつての多くの実験点での平均操作が必要であろう。

又一般的に云つて、しきい値のもたらす影響は極めて大きいものであると考えられる。これは今後の理論的發展に待たれる残された問題である。

論 文 審 査 要 旨

本論文は $F^{19}(d, \alpha)O^{17}$ 反応の励起曲線と角度分布を測定し、その結果を分析し、 $(2I+1)$ 法則の理論を発展させて、核反応機構に関して新しい知識をえたものである。

著者はまず、第1章で核反応における $(2I+1)$ 法則に関する従来の理論と実験結果を概観し、その結果が満足すべきものでないことを指摘している。第2, 3章では東北大学バンデグラフ装置によつてえられた実験とその結果をのべる。すなわち、 $Ed=1.0\sim 4.25\text{MeV}$ の範囲で、微分断面積の励起曲線と角度分布を、 $\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ の5つの α 粒子グループについて行い、全体で10ケの励起曲線と約200ケの角度分布をえた。そして、これらの角度分布を $L=8$ までのLegendre函数で展開し、これを積分して全断面積に関する励起曲線を求めた。第4章では理論的考察を行い、従来の $(2I+1)$ 法則に関する理論が、 $J>I$ 、すなわち複合核スピンの残留核スピンより大きい場合だけしかとり扱っていないので、実験との一致がよくないことに着目し、新たに $J\leq I$ なる場合の断面積を計算し、これが I に対して常数項となりしかも $(2I+1)$ 直線の勾配とし、この常数項である切片との比が $1/3$ なる常数となることを示した。

第5章では5つの α 粒子グループについて、 $(2I+1)$ 法則をテストし、これがかなりよくなり立っているが、いくつかのエネルギー点、特に他反応のしきいエネルギー近傍で、あまり、よい一致を示さないことを見出した。それで著者は第4章で展開した理論にしたがつて、勾配と切片の比を求めた結果、殆ど0.3の常数となり、理論的に予想した値と極めてよい一致を示していることを見出した。

又、この実験の領域では複合核の励起準位のエネルギー巾が100KeV程度であることから直接過程と複合核過程との干渉の可能性のあることを指摘し、 $(2I+1)$ 法則からの偏差の最も著しい α_2 グループについて、複合核過程による部分をさし引いて励起曲線を求めた結果、余弦関数的変化を示していることを見出した。この結果が直ちに直接過程と複合核過程の干渉によるものかどうかは結論しえないが、将来に対して一つの重要な問題を提起したといえることができる。

以上本論文は核反応における $(2I+1)$ 法則を理論的におしすすめ、これによつて実験結果を見事に解明し、核反応機構の研究に重要な寄与をしたもので著者竹内雄三は理学博士の学位をうけるに値するものと判定する。